

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-211700

(43)Date of publication of application : 06.08.1999

(51)Int. CI.

G01N 29/08

G01N 29/04

(21)Application number : 10-017562 (71)Applicant : SUMITOMO CHEM CO LTD

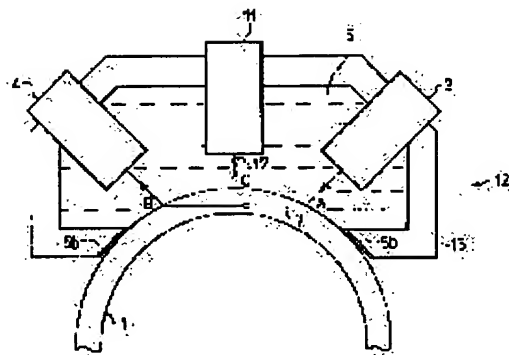
(22)Date of filing : 29.01.1998 (72)Inventor : SUETSUGU HIDEHIKO
MORI HISAKAZU

(54) ULTRASONIC FLAW DETECTING METHOD AND ULTRASONIC FLAW DETECTING DEVICE USED FOR SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable the examination of defects in a specimen by correcting the effects of coarseness on the surface of the specimen.

SOLUTION: This device 12 measures the echoes of transmitted waves 7 projected from a transmitting probe 3, transmitted through a tube to be inspected (a specimen) 1, and received by a receiving probe 4 and measures the echoes of reflected waves 17 vertically projected from a reflection probe (the third probe) 11 toward the tube to be inspected 1, reflected at the surface of the tube to be inspected 1, and received by the reflection probe 11. Before actually evaluating creep damage in the tube to be inspected 1, the transmitted echoes and reflected echoes of a test piece worked with simulated defects with the same material and shape as the tube to be inspected 1 are measured through the use of the ultrasonic flaw detecting device 12. An approximate line (regression straight line) is obtained for every simulated defect to create criteria for evaluating creep damage. Then the transmitted echoes and reflected echoes of the tube to be inspected 1 are measured through the use of the ultrasonic flaw detecting device 12, and creep damage is evaluated on the basis of the above-mentioned criteria for evaluation.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's
decision of rejection]

[Kind of final disposal of
application other than the
examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for
application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(11) 特許出願公開番号

特開平11-211700

(43)公開日 平成11年(1999)8月6日

(51)Int.CL ⁵		類別記号	P I	
G 0 1 N	29/08	5 0 2	G 0 1 N	29/08
	29/04	5 0 3		29/04
				5 0 3

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全17頁)

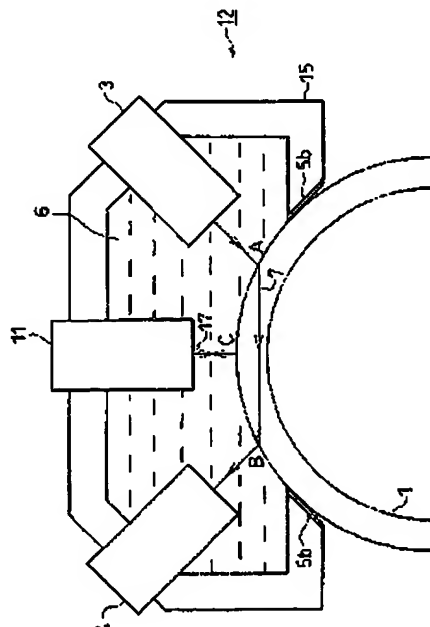
(21)出願番号	特願平10-17562	(71)出願人	000002093 住友化学工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
(22)出願日	平成10年(1998)1月29日	(72)発明者	宋次 秀彦 愛媛県新居浜市豊岡町5番1号 住友化学工業株式会社内
		(72)発明者	森 久和 愛媛県新居浜市豊岡町5番1号 住友化学工業株式会社内
		(74)代理人	弁理士 原 謙三

(54) 【発明の名称】 超音波探傷方法、およびそれに用いる超音波探傷装置

(57)【要約】

【課題】 被検体の欠陥を被検体表面の粗さの影響を補正して調べることができる超音波探傷方法、およびそれに用いる超音波探傷装置を提供する。

【解決手段】 超音波探傷装置１２は、発信探触子３より投射され、被検査管（被検体）１を透過し、受信探触子４に受波される透過波７のエコーを測定するとともに、反射探触子（第三の探触子）１１より被検査管１に垂直に投射され、被検査管１の表面で反射され、反射探触子１１に受波される反射波１７のエコーを測定する。実際の被検査管１のクリープ損傷を判定する前に、模擬欠陥を加工した被検査管１と材質、形状が同じ試験片の透過エコーと反射エコーとを超音波探傷装置１２を用いて測定し、模擬欠陥ごとに近似線（回帰直線）を求めて、クリープ損傷の判定基準を作成する。そして、実際の被検査管１の透過エコーと反射エコーとを超音波探傷装置１２を用いて測定し、上記判定基準に基づいてクリープ損傷を判定する。



(2)

特開平11-211700

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】超音波水浸透過法により発信探触子から投射され受信探触子で受波される被検体の透過エコーと、該被検体表面の粗さとから該被検体内の欠陥を判定することを特徴とする超音波探傷方法。

【請求項2】上記被検体表面の粗さは、中心線表面粗さあるいは最大粗さの測定値であることを特徴とする請求項1記載の超音波探傷方法。

【請求項3】上記被検体表面の粗さは、該被検体に対して垂直に超音波を投射し、反射された反射エコーを受波して得られる反射エコーの測定値であることを特徴とする請求項1記載の超音波探傷方法。

【請求項4】上記被検体は、高炭素耐熱遠心铸造管であることを特徴とする請求項1から3の何れかに記載の超音波探傷方法。

【請求項5】被検体に超音波を投射する発信探触子と、該被検体を透過してくる透過エコーを受波する受信探触子からなる超音波探傷装置であって、前記被検体に対して垂直に超音波を投射し、反射された反射エコーを受波する第三の探触子を備えてなることを特徴とする超音波探傷装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被検体に超音波を投射し、該被検体を透過してくる超音波を受波することにより探傷する超音波探傷方法、およびそれに用いる超音波探傷装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、エチレン工場のナフサ、ブタン、LPG分解炉の加熱管、あるいは水素、アンモニア工場の改質炉の加熱管は、HK40（0.40%C-25%Cr-20%Ni系）材等の高炭素耐熱遠心铸造管（以下、「遠心铸造管」と称する）が複数本溶接接続されて組み立てられている。

【0003】この加熱管は、触媒が充填された管内部に気体や液体が供給されるとともに、炉のバーナーによって管外部から加熱されることにより、管内部が高温高圧の状態になる。そして、加熱管内部の物質が高温高圧下で反応、変化する。

【0004】このため上記加熱管は使用時間の経過につれて、フープ応力によるクリープフィッシャーが管内面より外面に向かって放射状に進展する傾向がある。また、管内外の温度差（管外高温、管内低温）に起因して管内面の円周方向に欠陥を発生するおそれがある。したがって、上記加熱管の経年変化を把握し残存寿命を推定することは操業安定上不可欠である。

【0005】しかし、加熱管の外表面が粗い铸肌のままでは、所定の超音波入射が得難いなどの理由から、通常の超音波探傷方法を遠心铸造管の加熱管に適用することは困難であった。それゆえ、加熱管の経年変化を知るた

めには、専ら破壊検査が行われていた。

【0006】そこで、この問題を解決するために、水浸法により被検査管の外周面に沿って発信探触子と受信探触子とを組み合わせて走査し、被検査管の肉厚内を該被検査管の外周上の2点を結ぶ直線に超音波が浸透するよう前記発信探触子から斜角法により被検査管に超音波を入射するとともに、前記受信探触子により該超音波の透過エコーを受波することにより被検査管の肉厚内の欠陥を探知する方法が、特開昭54-128789号公報に記載されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、加熱管に使用される遠心铸造管は、砂型に鋼合金の溶液を入れ、遠心力で外に張り付かせて形成される。そのため、使用前の遠心铸造管には、砂型の砂の形がついた粗い铸肌が残っている。そして、加熱管として、炉内において高温下で使用されることにより、铸肌の粗い層が酸化減肉を起こして、滑らかになる。このため、遠心铸造管は加熱管として炉内で使用されるにつれ、管表面での超音波の入射損失が少なくなり、超音波の減衰量が小さくなる現象が生じる。

【0008】したがって、上記従来の超音波の減衰（透過量）のみを測定し、超音波減衰量の経年的な変化から、クリープ損傷の有無を判断する方法では、遠心铸造管の表面の粗さの経年的な変化により、超音波の減衰量が大きく変動するため、正確な判断が不可能であった。つまり、クリープ割れによる超音波の減衰を検出することが目的であるにもかかわらず、使用により管表面が滑らかになり、超音波の入射量が増えることにより、超音波の減衰量が段々減っていく。そして、最終的に、クリープ割れが生じ、超音波の減衰量が増えるまで、内部でのクリープ損傷の有無が判断できなかった。

【0009】ここで、遠心铸造管の表面粗さと透過波の減衰量との関係を、本発明の説明図である図3、図4および図6を用いて、具体的に説明する。

【0010】図3および図4に示す超音波探傷装置2は、本発明にかかるものであり詳細については後述するが、基本的な構造は従来のものと同じである。超音波探傷装置2は、被検査管1の外周の同一円周上に発信探触子3と受信探触子4とを所定の指向角度および間隔で配置し、発信探触子3から被検査管1の肉厚内を透過する超音波7の透過エコーを受信探触子4が受波できるようにしたものである。もちろん、水浸法によるため発信探触子3および受信探触子4と被検査管1との間の超音波経路にあたる部分には水6が充填されている。

【0011】図中矢線で示す超音波7は、発信探触子3より発信され、水浸法および斜角法によるため反射屈折の法則に従って、入射点Aにおいて屈折して被検査管1の肉厚内に入射され、被検査管1の肉厚内を最大深度2T/3（T：管の肉厚）で接線方向に透過し、出射点B

(3)

特開平11-211700

3

において屈折して被検査管1の肉厚外に出射され、受信探触子4により受波される。このとき、被検査管1の肉厚内の超音波7の経路上に欠陥（放射状フィッシャー）が存在すれば、該欠陥により超音波が散乱され、受信探触子4には減衰された透過エコーとして検出され、欠陥の存在が検知できる。

【0012】図6は、模擬欠陥を加工した試験片に対して、上記超音波探傷装置2を用いて透過波感度値（減衰量に相当する）と、中心線表面粗さとの測定結果を示すグラフである。なお、試験片は0、0.1、0.2、0.3mmと旋盤で削り込むことにより、管の外表面の粗さを変化させた。また、肉厚方向にT/2、T/3のスリット（亀裂）の模擬欠陥を加工した試験片と未加工の試験片とを用いた。

【0013】ここで、ある測定の結果、透過波感度値が85dBであった場合を考える。従来の方法では、この結果だけからクリープ損傷を判断していた。しかし、同じ85dBの透過波感度値でも、中心線表面粗さが大きい場合と、小さい場合とでは、全く評価が異なる。すなわち、中心線表面粗さが80μmである場合にはT/3スリットの模擬欠陥の近似線（基準線）L_{a1}を下回っているが、中心線表面粗さが10μmである場合にはT/2スリットの模擬欠陥の近似線（基準線）L_{a2}をも上回っている。

【0014】また、T/3スリットの近似線L_{a1}について、中心線表面粗さが20μmのときと、80μmのときを比較してみると、透過波減衰値に約6dBの差があり、これは感度に約2倍の違いがある。すなわち、同一の大きさの欠陥を探傷した場合でも、表面粗さの高低によって、受波される透過エコーの量に2倍の違いがある。

【0015】なお、同一の大きさの模擬欠陥の基準線（近似線）が右上がりになることから、使用により管表面が滑らかになり、超音波の入射量が増えることにより、透過波の減衰量（透過波感度値）が段々減っていくことがわかる。

【0016】以上のことから、従来の方法では管表面の粗さが考慮されていなかったため、非常に誤差が大きく、欠陥の正確な検知ができなかった。加えて、同一炉内の同一管であっても温度分布により、酸化減肉の速度に差があり、管表面の状態は検査部位ごとに異なっているため、欠陥の探傷において管表面の粗さを補正することは重要である。

【0017】本発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、その目的は、被検体の欠陥を被検体表面の粗さの影響を補正して調べることができる超音波探傷方法、およびそれに用いる超音波探傷装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】請求項1の超音波探傷方

4

法は、上記の課題を解決するために、超音波水浸透過法により発信探触子から投射され受信探触子で受波される被検体の透過エコーと、該被検体表面の粗さとから該被検体内の欠陥を判定することを特徴としている。

【0019】上記の構成により、発信探触子および受信探触子を用いて透過エコーを測定するとともに、該被検体表面の粗さを測定し、透過エコーの該被検体の表面での散乱による減衰量を該被検体表面の粗さの測定値によって補正して、該被検体内の欠陥を判定する。

【0020】具体的には、被検体と材質、形状が同じ試験片に模擬欠陥を加工して、この試験片の透過エコーと表面の粗さを測定し、模擬欠陥ごとに近似線を求めて、クリープ損傷の判定基準を作成する。そして、実際の被検体の探傷を行う際には、透過エコーと表面の粗さを測定し、上記の判定基準に基づいてクリープ損傷を判定する。

【0021】このように、検査部位の透過エコーを測定するとともに、表面の粗さを測定することにより、被検体表面の粗さの影響を補正して探傷を行うことができる。したがって、加熱管の経年変化を的確に把握し、残存寿命を高精度に推定することができるため、加熱管の無駄な交換を防止することができ、安全かつ経済的に操業することができる。

【0022】請求項2の超音波探傷方法は、上記の課題を解決するために、請求項1の構成に加えて、上記被検体表面の粗さは、中心線表面粗さあるいは最大粗さの測定値であることを特徴としている。

【0023】上記の構成により、請求項1の構成による作用に加えて、発信探触子および受信探触子を用いて透過エコーを測定するとともに、粗さ計測器を用いて中心線表面粗さあるいは最大粗さを被検体表面の粗さとして測定し、透過エコーと中心線表面粗さあるいは最大粗さとによって被検体内の欠陥を判定する。

【0024】具体的には、被検体と材質、形状が同じ試験片に模擬欠陥を加工して、この試験片の透過エコーと中心線表面粗さあるいは最大粗さを測定し、模擬欠陥ごとに近似線を求めて、クリープ損傷の判定基準を作成する。そして、実際の被検体の探傷を行う際には、透過エコーと中心線表面粗さあるいは最大粗さを測定し、上記の判定基準に基づいてクリープ損傷を判定する。

【0025】このように、検査部位の透過エコーを測定するとともに、粗さ計測器を用いて中心線表面粗さあるいは最大粗さを測定することにより、被検体表面の粗さの影響を補正して探傷を行うことができる。そして、この補正に要する粗さ計測器は一般的な計測装置であり、作業量の増加も軽微である。

【0026】請求項3の超音波探傷方法は、上記の課題を解決するために、請求項1の構成に加えて、上記被検体表面の粗さは、該被検体に対して垂直に超音波を投射し、反射された反射エコーを受波して得られる反射エコー

(4)

特開平11-211700

5

一の測定値であることを特徴としている。

【0027】上記の構成により、請求項1の構成による作用に加えて、発信探触子および受信探触子を用いて透過エコーを測定するとともに、被検体に対して垂直に超音波を投射してその反射波を受波する第三の探触子（以下、「反射探触子」と称する）を用いて反射エコーを測定し、透過エコーと反射エコーとによって被検体内の欠陥を判定する。

【0028】具体的には、被検体と材質、形状が同じ試験片に模擬欠陥を加工して、この試験片の透過エコーと反射エコーとを測定し、模擬欠陥ごとに近似線を求めて、クリープ損傷の判定基準を作成する。そして、実際の被検体の探傷を行う際には、透過エコーと反射エコーとを測定し、上記の判定基準に基づいてクリープ損傷を判定する。

【0029】このように、検査部位の透過エコーを測定するとともに、反射エコーを測定することにより、被検体表面の粗さの影響を補正して探傷を行うことができる。また、この補正に要する反射エコーは、被検体に対して垂直に超音波を投射して反射波を受波する反射探触子を備えた簡便な装置で測定することができ、作業量の増加も軽微である。さらに、発信探触子および受信探触子を備えた従来の超音波探傷装置に上記反射探触子を設け、透過エコーと反射エコーとを同時に測定することも可能であり、より効率的に探傷作業を行うことができる。

【0030】請求項4の超音波探傷方法は、上記の課題を解決するために、請求項1から3の何れかの構成に加えて、上記被検体は、高炭素耐熱遠心铸造管であることを特徴としている。

【0031】上記の構成により、請求項1から3の何れかの構成による作用に加えて、超音波水浸透過法により発信探触子から投射され受信探触子で受波される高炭素耐熱遠心铸造管の透過エコーと、該高炭素耐熱遠心铸造管表面の粗さとから該高炭素耐熱遠心铸造管内の欠陥を判定する。

【0032】請求項1から3の何れかに記載の超音波探傷方法は、表面粗さが変化する被検体に対して適用できるものであるが、高炭素耐熱遠心铸造管は、外表面の粗さの経年変化が大きく、補正の効果が顕著である。

【0033】請求項5の超音波探傷装置は、上記の課題を解決するために、被検体に超音波を投射する発信探触子と、該被検体を透過してくる透過エコーを受波する受信探触子からなる超音波探傷装置であって、前記被検体に対して垂直に超音波を投射し、反射された反射エコーを受波する第三の探触子を備えてなることを特徴としている。

【0034】上記の構成により、上記超音波探傷装置は、発信探触子および受信探触子を用いて透過エコーを測定するとともに、反射探触子（第三の探触子）を用い

6

て被検体に対して垂直に超音波を投射して反射された反射エコーを測定する。

【0035】このように、検査部位の透過エコーを測定するとともに、反射エコーを測定することにより、被検体表面の粗さの影響を補正して探傷を行うことができる。また、上記超音波探傷装置は、発信探触子および受信探触子を備えた従来の超音波探傷装置に反射探触子を設けるだけでよい。そして、透過エコーと反射エコーとを同時に測定することができるため、より効率的に探傷作業を行うことができる。

【0036】

【発明の実施の形態】〔実施の形態1〕本発明の一実施の形態について図3から図9に基づいて説明すれば、以下のとおりである。なお、以下では、被検体を高炭素耐熱遠心铸造管（以下、「遠心铸造管」と称する）として説明する。

【0037】図3および図4に示すように、本実施の形態にかかる超音波探傷方法に用いる超音波探傷装置2は、治具5に発信探触子3および受信探触子4が取り付けられて構成されている。

【0038】上記の発信探触子3および受信探触子4は、超音波探傷装置2が被検査管1に装着された際、被検査管1の外周の同一円周上に所定の指向角度および間隔で配置されるように、治具5に取り付けられている。そして、発信探触子3から発信された超音波7の被検査管1の肉厚内を透過する透過エコーを受信探触子4が受波できるようになっている。なお、本実施の形態では、発信探触子3としてパナメトリクス社製V382（周波数3.5MHz、振動子径0.5"、焦点3"LF）、受信探触子4としてパナメトリクス社製V382（周波数3.5MHz、振動子径0.5"、焦点FLAT）を使用した。

【0039】上記治具5は、例えば、MMA（メチルメタクリレート）で形成される。そして、発信探触子3および受信探触子4と被検査管1との間の超音波経路にあたる部分に開口部5aが形成されている。開口部5aは、超音波探傷装置2が被検査管1に押し当てられて装着されるため、被検査管1の外周形状に適合した形状に形成されている。

【0040】また、水浸法によるため、治具5の内部に水6が充填されることにより、発信探触子3および受信探触子4と被検査管1との間の超音波経路にあたる部分に水6が保持される。そして、治具5を被検査管1に押し当てた際、内部に充填された水6を漏らさないよう、被検査管1に当接する当接部には弾性を有する、例えば板ゴムなどからなるシール5bが設けられている。さらに、超音波探傷装置2には、治具5の内部に水6を注水排水するために、図示しない注水手段および排水手段が設けられている。したがって、上記超音波探傷装置2による透過エコーの測定は、装着、注水、測定、排水を1

(5)

特開平11-211700

7

8

サイクルにして行われる。これにより、炉内の断熱材などの周囲の水濡れを防止している。

【0041】図中矢線で示す超音波7は、後述する探傷器21（図5）によってパルス状の電源が供給された発信探触子3より投射され、水6を介して被検査管1に入射角 i で入射し、水浸法かつ斜角法によるため、反射屈折の法則に従って、被検査管1の外周面上の入射点Aにおいて、屈折角 θ で屈折し、被検査管1の内厚内を最大深度 d で接線方向に透過し、被検査管1の外周面上の出射点Bにおいて入射角 θ に対して屈折角 i で屈折し被検査管1の内厚外に出射され、水6を介して受信探触子4により受波される。このとき、被検査管1の内厚内の超音波7の経路上に欠陥（放射状フィッシャー）が存在すれば、該欠陥により超音波が散乱され、受信探触子4には減衰された透過エコーとして検出され、欠陥の存在が検知できる。

【0042】また、超音波7の入射角 i を被検査管1の内周面による底面反射が起こらない範囲で調整し、同時に透過エコーをキャッチするべく発信探触子3と受信探触子4との間隔を調整すれば被検査管1の内厚内の超音波探傷深さ d が適宜調整できる。

【0043】図5に示すように、発信探触子3および受信探触子4はパルス状の電源を供給する探傷器21に接続されており、さらに探傷器21は記録計22に接続されている。ここで、本実施の形態では探傷器21として、クラウトクレマー社製USL-38、およびUSL-48を使用した。また、上記注水手段として、例えば、治具5に図示しない注水穴が穿孔されており、治具5の内部に水6を充填できるように注水タンク23と接続されている。同様に、治具5に図示しない排水穴が穿孔されており、治具5の内部に充填された水6を排水できるように排水タンク24と接続されている。

【0044】以下に、本実施の形態にかかる超音波探傷方法について説明する。

【0045】まず、実炉内で被検査管1の探傷を行う準備として、クリープ損傷の判定の基準を求める。被検査管1と同一の材質および内厚の試験片に模擬欠陥を加工し、上記超音波探傷装置2を用いて、透過波感度値（減衰量に相当する）を管表面の粗さを変化させて測定する。あわせて、超音波の入射点Aの中心線表面粗さを粗さ計測器によって測定する。そして、得られた測定結果より透過波感度値と中心線表面粗さとの近似線を模擬欠陥ごとに求める。なお、本実施の形態では、粗さ計測器としてMitutoyo社製SURFTEST SV-9700・3Dを用いた。

【0046】例えば、図6に示すように、内厚方向に $T/2$ 、 $T/3$ のスリット（亀裂）の模擬欠陥を加工した試験片と未加工の試験片とに対して、上記超音波探傷装置2を用いて透過波感度値と中心線表面粗さを測定し、模擬欠陥ごとにそれぞれ近似線 L_{a2} 、 L_{a1} 、 L_{a0} が

得られた。なお、試験片は0、0.1、0.2、0.3mmと旋盤で削り込むことにより、管表面の粗さを変化させた。また、求める近似線の回帰係数は1次のものに限定するものではなく、中心線表面粗さと透過波感度値との相関関係により、適宜選択することができる。

【0047】つぎに、実炉の被検査管1の探傷を行う際には、上記超音波探傷装置2を用いて検査部位の透過波感度値を測定するとともに、超音波の入射点Aの中心線表面粗さを測定する。そして、判定の基準線として求めておいた近似線 L_{a2} 、 L_{a1} 、 L_{a0} と比較することにより、被検査管1の欠陥を判定することができる。

【0048】すなわち、図8に示すように、中心線表面粗さと透過波感度値との座標平面上において、実炉の被検査管1の測定値が基準線に対してどのような位置にプロットされるかによって、欠陥の状態を判定することができる。

【0049】ここで、基準線の意味を説明する。例えば、ある検査部位の測定値が近似線 L_{a2} 上にプロットされたとすると、検査部位には $T/2$ スリットの模擬欠陥と同じだけの減衰量があるという評価をする。これは、検査部位に $T/2$ スリットと同じ大きさのクリープ損傷が存在するという意味ではない。つまり、実際に検出されているのは1個の亀裂の減衰量ではなく、無数に発生した非常に小さな欠陥の集合体の減衰量であり、それが $T/2$ スリットの模擬欠陥の減衰量と同程度であるという意味である。そして、欠陥の集合体がフィッシャーのどのレベルにまで進展しているかを評価している。当然、模擬欠陥と同じ大きさの欠陥が生じる以前に、検出される。

【0050】以上の説明のように、上記実施の形態1の超音波探傷方法によれば、まず、模擬欠陥を加工した試験片に対して、上記超音波探傷装置2を用いて透過波感度値を測定するとともに、超音波の入射点の中心線表面粗さを測定し、模擬欠陥ごとに近似線を求めて、クリープ損傷の判定の基準線を求めておく。そして、実際の被検査管の探傷を行う際には、上記超音波探傷装置2を用いて検査部位の透過波感度値を測定するとともに、超音波の入射点の中心線表面粗さを測定し、求めておいた基準線と比較することにより、被検査管1のクリープ損傷を判定することができる。

【0051】なお、上記実施の形態1は本発明の範囲を限定するものではなく、本発明の範囲内で種々の変更が可能である。例えば、中心線表面粗さの代わりに、最大粗さを用いてもよい。中心線表面粗さは粗さの平均値であり、最大粗さは山と谷との差の最大値であるが、表面粗さの指標として同程度であり、どちらを用いても差がない。

【0052】上述したように、被検体の表面の粗さを、粗さ計測器によって透過波感度値とは別に測定することができるが、透過波感度値と同時に測定できる方が効率

的である。そこで、透過波感度値の測定と同時に、被検体に対して垂直に超音波を投射し、その反射波を受波して得られる反射波の感度値を測定し、クリープ損傷の判定に利用する方法について、以下に説明する。

【0053】〔実施の形態2〕本発明の他の実施の形態について図1、図2および図10から図13に基づいて説明すれば、以下のとおりである。なお、以下では、実施の形態1と同様、被検体を高炭素耐熱遠心铸造管として説明する。また、説明の便宜上、実施の形態1において示した構成と同一の部材には、同一の符号を付記し、その説明を省略する。

【0054】図1および図2に示すように、本実施の形態にかかる超音波探傷装置12は、治具15に発信探触子3および受信探触子4に加えて、反射探触子11が取り付けられて構成されている。

【0055】上記反射探触子11は、超音波探傷装置12が被検査管1に装着された際、被検査管1の外周の発信探触子3および受信探触子4と同一円周上かつ中央位置で、被検査管1に対して垂直に配置されるように、治具15に取り付けられている。そして、反射探触子11から投射された超音波17が被検査管1の外周面で反射され、その反射波を反射探触子11が受波できるようになっている。なお、本実施の形態では、反射探触子11としてハリソニック社製I302087（周波数2.25MHz、振動子径0.5"、焦点1.5"PF）を用いた。

【0056】上記治具15は、実施の形態1の治具5と同様に、発信探触子3、受信探触子4、および反射探触子11と被検査管1との間の超音波経路にあたる部分に開口部5aが形成されている。また、治具15の内部に充填される水6を漏らさないよう、被検査管1に当接する当接部には弾性を有する、例えば板ゴムなどからなるシール5bが設けられている。

【0057】図中矢線で示す超音波7は、発信探触子3より投射され、被検査管1の肉厚内を最大深度dで接線方向に透過し、受信探触子4により受波される。このとき、被検査管1の肉厚内の超音波7の経路上に欠陥（放射状フィッシャー）が存在すれば、該欠陥により超音波

が散乱され、受信探触子4には減衰された透過エコーとして検出され、欠陥の存在が探知できる。

【0058】また、図中矢線で示す超音波17は、反射探触子11より被検査管1の外周面に対して垂直に投射され、被検査管1の外周面で反射された反射波が反射探触子11により受波される。このとき、被検査管1の外周面が粗い状態であるほど、外周面により超音波が散乱され、反射探触子11には減衰された反射エコーとして検出され、被検査管1の表面の粗さの程度が測定できる。

【0059】図5に示したように、発信探触子3および受信探触子4は、探傷器21に接続されており、さらに探傷器21は記録計22に接続されている。同様に、反射探触子11も探傷器21に接続されている。また、例えば、治具5に図示しない注水穴が穿孔されており、治具5の内部に水6を充填できるように注水タンク23と接続されている。同様に、治具5に図示しない排水穴が穿孔されており、治具5の内部に充填された水6を排水できるように排水タンク24と接続されている。

【0060】本実施の形態にかかる超音波探傷方法は、実施の形態1の粗さ計測器による中心線表面粗さの代わりに、反射波の減衰量（垂直表面波感度値）を被検査管1の表面の粗さとして用いるものである。そこで、中心線表面粗さと垂直表面波感度値との相関性について、簡単に説明する。

【0061】被検査管1の中心線表面粗さと垂直表面波感度値を測定すると表1に示すようになった。そして、図10に示すように、得られた測定値より中心線表面粗さと垂直表面波感度値との回帰直線を求めると、良好な相関関係があることが明らかである。特に、中心線表面粗さが40μm以下（垂直表面波感度値が28dB以下）では非常に高い相関関係が得られている。そして、図13に示すように、クリープ損傷が起こるのは垂直表面波感度値が25dB以下であるため、中心線表面粗さの代わりに、垂直表面波感度値を管表面の粗さの指標として用いることができる。

【0062】

【表1】

(7)

特開平11-211700

11

12

中心線 表面粗さ (μm)	最大 粗さ (μm)	垂直表面波 感度値 (dB)	中心線 表面粗さ (μm)	最大 粗さ (μm)	垂直表面波 感度値 (dB)
73.22	398.40	38	24.98	130.05	26
75.44	422.50	27	41.76	267.60	29
62.90	385.75	32	27.90	185.75	24
75.28	467.95	34	41.30	267.35	30
50.59	278.05	35	6.82	59.30	20
46.66	250.70	29	21.20	164.15	27
40.44	265.25	31	16.35	116.40	21
44.84	278.15	34	19.44	133.75	23
50.26	349.35	36	72.68	400.40	32
32.76	207.00	28	78.58	389.45	30
27.72	156.65	25	80.10	420.05	37
35.54	279.50	28	44.32	238.95	26
51.16	305.15	35	35.14	214.40	27
14.22	98.10	22	46.00	239.20	28
8.84	74.50	21	40.74	272.75	30
22.88	178.70	24	24.68	145.50	23
56.24	302.45	28	18.88	104.65	22
74.24	431.05	27	39.94	259.80	29
78.34	402.95	34	37.42	240.65	28
49.70	271.45	28	16.40	129.90	21
61.56	382.40	33	5.02	72.90	20
43.88	251.95	28	32.04	199.50	26
54.98	355.74	33	34.68	242.05	29

【0063】同様に、表1および図11に示すように、被検査管1の最大粗さと垂直表面波感度値を測定し、得られた測定値より最大粗さと垂直表面波感度値との回帰直線を求めると、良好な相関関係があることが明らかである。特に、中心線表面粗さが $250\mu\text{m}$ 以下（垂直表面波感度値が 27dB 以下）では非常に高い相関関係が得られている。そして、図13に示すように、クリープ損傷が起こるのは垂直表面波感度値が 25dB 以下であるため、最大粗さの代わりに、垂直表面波感度値を管表面の粗さの指標として用いることができる。なお、中心線表面粗さおよび最大粗さの垂直表面波感度値との相関関係はどちらも同程度である。

【0064】以下に、本実施の形態にかかる超音波探傷方法について説明する。

【0065】まず、実炉内で被検査管1の探傷を行う準備として、クリープ損傷の判定の基準を求める。被検査管1と同一の材質および肉厚の試験片に模擬欠陥を加工し、上記超音波探傷装置12を用いて、透過波感度値（源衰量に相当する）を管表面の粗さを変化させて測定する。あわせて、反射探触子11により、垂直表面波感度値（反射波の源衰量に相当する）も測定する。そして、得られた測定結果から、垂直表面波感度値と透過波感度値との近似線を模擬欠陥ごとに求める。

【0066】例えば、図12に示すように、肉厚方向に $T/2$ 、 $T/3$ のスリット（亀裂）の模擬欠陥を加工した試験片と未加工の試験片とに対して、上記超音波探傷装置12を用いて透過波感度値と垂直表面波感度値とを測定し、模擬欠陥ごとにそれぞれ近似線 L_{v2} 、 L_{v1} 、 L_{v0} が得られた。なお、試験片は0、0.1、0.2、0.3mmと旋盤で削り込むことにより、管表面の粗さを変化させた。なお、求める回帰係数は1次のものに限

定するものではなく、垂直表面波感度値と透過波感度値との相関関係により、適宜選択することができる。

【0067】つぎに、実炉の被検査管1の探傷を行う際には、上記超音波探傷装置12を用いて検査部位の透過波感度値を測定するとともに、垂直表面波感度値を測定する。そして、判定基準として求めておいた近似線 L_{v2} 、 L_{v1} 、 L_{v0} と比較することにより、被検査管1の欠陥を判定することができる。

【0068】すなわち、図13に示すように、垂直表面感度値と透過波感度値との座標平面上において、実炉の被検査管1の測定値が基準線に対してどのような位置にプロットされるかによって、欠陥の状態を判定することができる。

【0069】以上の説明のように、上記実施の形態2の超音波探傷方法、およびそれに用いる超音波探傷装置によれば、まず、模擬欠陥を加工した試験片に対して、上記超音波探傷装置12を用いて透過波感度値を測定するとともに、管表面に対して垂直に設置した反射探触子11によって垂直表面波感度値を測定し、模擬欠陥ごとに近似線を求めて、クリープ損傷の判定の基準線を導出しておく。そして、実際の被検査管1の探傷を行う際には、上記超音波探傷装置12を用いて検査部位の透過波感度値を測定するとともに、管表面に対して垂直に設置した反射探触子11によって垂直表面波感度値を測定し、求めておいた基準線と比較することにより、被検査管1のクリープ損傷を判定することができる。なお、透過波感度値の測定と、垂直表面波感度値の測定とを同時に行うと、効率的である。

【0070】なお、上記実施の形態2は本発明の範囲を限定するものではなく、本発明の範囲内で種々の変形が可能である。例えば、上記超音波探傷装置12では、炉

(8)

特開平11-211700

13

14

床からの高さのレベルが同一である円周上では、管表面の粗さにはほとんど差がないため、反射探触子11を取り付けやすい中央の位置に設けてある。しかし、透過波感度値の測定の際の超音波の減衰は、管への入射位置および管からの出射位置において発生する。そして、入射位置における減衰量の方が、出射位置における減衰量よりも大きい。したがって、入射位置における管表面の粗さを測定することが望ましく、反射探触子11をそのように設けてもよい。

【0071】実施の形態1および2において上述したように、超音波水浸透過法により発信探触子から投射され受信探触子で受波される被検体の透過エコーと、被検体表面の粗さから被検体内の欠陥を判定することにより、超音波の被検体の表面での散乱による減衰量を考慮することができるため、被検体表面の粗さの影響を補正して、被検体の欠陥を的確に判定することができる。

【0072】したがって、加熱管の経年変化を的確に把握し、残存寿命を高精度に推定することができるため、加熱管の無駄な交換を防止することができ、安全かつ経済的に操業することができる。

【0073】なお、本発明にかかる超音波探傷方法、およびそれに用いる超音波探傷装置は、材質、肉厚、形状が異なる被検体であっても、表面粗さが変化するものであれば、基準線をそれぞれ用意しておくことにより、欠陥の判定に適用することができる。

【0074】

【実施例】以下に、(株)コボタ製のKHR24C遠心鋳造管(外径110mm、肉厚12mm)の探傷を行う場合について説明する。なお、KHR24C遠心鋳造管*

*は、未使用時の中心線表面粗さが200μm程度である。

【0075】〔実施例1〕本発明の一実施例について図3から図9に基づいて説明すれば、以下のとおりである。

【0076】発信探触子3および受信探触子4は、最大深度dが2T/3となるように、取り付け角度φが43°に設定されている(図3)。

【0077】記録計22(図5)は、受波される超音波のエコー高さをCRT画面上で80%になるように補正した時の感度値を記録する。この記録方法によれば、管表面の状態が粗ければ粗いほど、受波される超音波の量が少なくなるため、感度値を高く設定することにより同じエコー高さに補正する。また、クリーブ損傷が進展するにつれて、受波される超音波の量が減るため、設定される感度値は高くなる。

【0078】また、粗さ計測器は、基準線の作成時には実験室用のMitutoyo社製SURFTEST SV-9700・3D、現場での測定にはハンディタイプのTAYLOR-HOBSON社製surtronic3を使用した。

【0079】表2は、肉厚方向にT/2、T/3のスリット(亀裂)の模擬欠陥を加工した試験片と未加工の試験片とに対して、超音波探傷装置2で透過波感度値を測定するとともに、粗さ計測器で中心線表面粗さおよび最大粗さを測定した結果である。

【0080】

【表2】

検査対象管	中心線表面粗さ(μm)	最大粗さ(μm)	透過波感度値(dB)	検査対象管	中心線表面粗さ(μm)	最大粗さ(μm)	透過波感度値(dB)	検査対象管	中心線表面粗さ(μm)	最大粗さ(μm)	透過波感度値(dB)
試験片T/2 縦裂欠陥	71.57	403.53	92	試験片T/3 縦裂欠陥	65.10	247.00	86	試験片無欠陥	68.09	333.16	89
	79.19	472.53	94		80.54	455.18	85		70.87	425.23	79
	68.36	403.75	91		70.98	387.30	90		69.92	416.58	81
	75.76	403.20	94		70.32	468.53	85		81.22	453.83	80
	54.31	322.28	92		48.86	264.28	82		37.15	218.20	78
	47.24	281.18	88		59.58	368.69	88		35.99	231.13	77
	37.23	245.80	89		37.11	217.28	84		48.99	305.25	78
	51.57	293.83	90		62.88	357.18	89		52.38	347.03	78
	50.35	304.88	90		23.83	155.65	82		20.98	155.78	75
	30.79	188.63	86		31.32	225.33	84		21.24	140.99	76
	29.01	162.88	87		26.54	167.56	82		42.61	272.43	76
	38.50	243.90	88		43.78	272.06	84		40.76	285.35	77
	48.33	304.45	88		6.25	80.23	79		10.97	105.30	75
	10.35	83.90	84		12.67	124.18	82		8.42	58.43	73
	10.71	111.68	88		12.25	103.68	83		31.87	183.58	77
	23.24	220.50	86		18.32	152.40	83		35.89	214.28	78

【0081】図6は、表2の中心線表面粗さと透過波感度値との測定結果を、縦裂欠陥ごとにそれぞれ近似線L_{a2}、L_{a1}、L_{a0}を求め、測定結果とともにグラフ化したものである。同様に、図7は、表2の最大粗さと透過波感度値との測定結果を、縦裂欠陥ごとにそれぞれ近似線L_{v2}、L_{v1}、L_{v0}を求め、測定結果とともにグラフ化したものである。なお、本実施例の近似線としては、回帰

係数が1次のものが最も相関関係が高かったため、回帰直線を採用した。

【0082】ここで、中心線表面粗さ(図6)および最大粗さ(図7)は、ともに透過波感度値と非常に高い相関関係(80~90%)を示しており、それぞれの近似線がクリーブ損傷の判定基準として十分に信頼できることがわかる。

(9)

特開平11-211700

15

16

【0083】表3は、実炉から抜き出した損傷のある管について、中心線表面粗さおよび最大粗さと、透過波感度値とを測定した結果である。なお、断面マクロ・ミクロ組織観察によって確認されたフィッシャーの有無に*

*いて対応させてある。

【0084】

【表3】

検査対象管	中心線表面粗さ (μm)	最大粗さ (μm)	垂直表面波感度値 (dB)	透過波感度値 (dB)	フィッシャーの有無	検査対象管	中心線表面粗さ (μm)	最大粗さ (μm)	垂直表面波感度値 (dB)	透過波感度値 (dB)	フィッシャーの有無
実炉腐蝕	8.81	66.93	22	95	有	実炉腐蝕	9.68	94.78	20	81	有
	8.92	67.38	21	84	有		9.68	94.35	22	82	有
	8.57	113.63	21	89	有		9.68	94.35	21	82	有
	9.41	80.33	21	90	有		9.22	78.63	22	89	無
	9.93	87.33	22	60	有		9.22	78.63	21	79	無
	10.19	112.75	21	88	有		8.19	93.28	21	78	無
	8.55	71.40	21	81	無		9.31	91.83	21	79	無
	8.55	77.33	21	82	無		9.31	91.83	21	78	無
	7.91	54.68	21	80	無		9.54	86.23	21	80	無
	8.10	77.05	21	80	無		9.54	96.23	22	78	無
	9.21	90.08	21	80	無		9.00	74.73	21	79	無
	9.90	111.73	21	81	無		9.00	74.73	22	79	無
	9.48	90.70	21	88	有		9.94	88.13	21	78	無
	9.02	85.95	21	84	無		8.41	91.13	20	78	無
	8.81	78.05	21	86	無		8.41	91.13	21	77	無
	8.89	72.18	21	89	無		8.41	77.08	20	77	無
	9.22	91.03	21	84	無		8.41	77.08	21	78	無
	10.17	84.20	21	82	無		8.61	83.45	21	78	無
	8.75	83.75	21	86	無		8.61	83.45	21	78	無
	9.24	102.38	21	83	無		9.29	71.40	21	80	無
	8.49	60.18	21	84	無		9.37	71.15	21	80	無
	9.11	72.68	21	84	無		9.37	71.15	21	80	無
	9.30	72.66	21	81	無		9.60	73.35	22	78	無
	8.69	73.58	20	82	無		9.60	73.35	21	78	無
	10.02	100.83	21	94	有		9.28	87.63	21	79	無
	9.88	94.78	22	82	有		9.23	87.63	22	78	無

【0085】図8は、表3の中心線表面粗さと透過波感度値との測定結果を、基準線である近似線L_{a2}、L_{a1}、L_{a0}(図6)とともにグラフ化したものである。同様に、図9は、表3の最大粗さと透過波感度値との測定結果を、基準線である近似線L_{v2}、L_{v1}、L_{v0}(図7)とともにグラフ化したものである。

【0086】図8中、使用によって管表面の酸化源内が進行しており、中心線表面粗さは10 μm 近傍に分布している。同様に、図9中、最大粗さは60 μm から120 μm の間に分布している。

【0087】また、図8および図9ではともに、T/3スリットの近似線L_{a1}、L_{v1}よりも高い透過波感度値を示した部位で、フィッシャーが検出されている。精度としては、T/2スリットの近似線L_{a2}、L_{v2}よりも高い

透過波感度値を示した部位の50%(8/15)以上でフィッシャーが確認されている。

【0088】〔実施例2〕本発明の他の実施例について図1、図2および図12、図13に基づいて説明すれば、以下のとおりである。

【0089】表4は、肉厚方向にT/2、T/3のスリット(亀裂)の模擬欠陥を加工した試験片と未加工の試験片とに対して、超音波探傷装置12の発信探触子3および受信探触子4で透過波感度値を測定するとともに、反射探触子11で垂直表面波感度値を測定した結果である。

【0090】

【表4】

(10)

特開平11-211700

17

18

検査対象管	垂直表面波感度値 (dB)	透過波感度値 (dB)	検査対象管	垂直表面波感度値 (dB)	透過波感度値 (dB)	検査対象管	垂直表面波感度値 (dB)	透過波感度値 (dB)
試験片 T/2 模擬欠陥	38	92	試験片 T/3 模擬欠陥	28	86	試験片 無欠陥	32	80
	27	94		32	85		30	79
	32	91		27	90		30	84
	34	94		34	85		37	80
	35	92		28	92		26	78
	28	88		33	86		27	77
	31	88		28	84		28	78
	34	90		23	86		30	78
	36	90		26	82		23	75
	28	86		29	84		22	76
	25	87		24	82		29	76
	28	88		30	84		29	77
	35	88		20	79		21	75
	22	84		23	82		20	73
	21	86		21	83		23	77
	24	85		23	83		29	78

【0091】図12は、表4の垂直表面波感度値と透過波感度値との測定結果を、模擬欠陥ごとにそれぞれ近似線 L_{v2} 、 L_{v1} 、 L_{v0} を求め、測定結果とともにグラフ化したものである。なお、本実施例の近似線としては、回帰係数が1次のものが最も相関関係が高かったため、回帰直線を採用した。

【0092】ここで、垂直表面波感度値は、透過波感度値と高い相関関係（60～80％）を示しており、それぞれの近似線がクリープ損傷の判定基準として信頼できることがわかる。

【0093】表3には、実炉から抜き出した損傷のある管について、垂直表面波感度値の測定結果も示している。

【0094】図13は、表3の垂直表面波感度値と透過波感度値との測定結果を、基準線である近似線 L_{v2} 、 L_{v1} 、 L_{v0} （図12）とともにグラフ化したものである。図13中、使用によって管表面の酸化減肉が進行しており、垂直表面波感度値は20～23dBの間に分布している。また、T/3スリットの近似線 L_{v1} よりも高い透過波感度値を示した部位でフィッシャーが検出されている。そして、T/2スリットの近似線 L_{v2} よりも高い透過波感度値を示した部位では、80％（7/9）以上でフィッシャーが確認されている。

【0095】したがって、模擬欠陥を測定して得られた基準線に基づいて、加熱管の交換を行うことができる。例えば、1本の加熱管について所定の検査部位の管表面の粗さおよび透過波感度値を測定し、1ヵ所でもT/3スリットの基準線（近似線 L_{a1} 、 L_{v1} 、 L_{v2} ）を上回った場合、その加熱管の交換を行う。

【0096】以上のように、本発明にかかる超音波探傷方法、およびそれに用いる超音波探傷装置によれば、被検体表面の粗さの影響を補正して損傷を調べることができる。そして、超音波探傷の結果と、断面ミクロ・マクロ組織観察による実損傷の状況とが、良好な対応関係にあることが確認された。

【0097】

【発明の効果】請求項1の発明の超音波探傷方法は、以上のように、超音波水浸透過法により発信探触子から投射され受信探触子で受波される被検体の透過エコーと、該被検体表面の粗さとから該被検体内の欠陥を判定する構成である。

20 【0098】それゆえ、検査部位の透過エコーを測定するとともに、表面の粗さを測定することにより、被検体表面の粗さの影響を補正して探傷を行うことができるという効果を奏する。したがって、加熱管の経年変化を的確に把握し、残存寿命を高精度に推定することができるため、加熱管の無駄な交換を防止することができ、安全かつ経済的に操業することができるという効果を奏する。

30 【0099】請求項2の発明の超音波探傷方法は、以上のように、請求項1の構成に加えて、上記被検体表面の粗さは、中心線表面粗さあるいは最大粗さの測定値である構成である。

【0100】それゆえ、請求項1の構成による効果に加えて、検査部位の透過エコーを測定するとともに、粗さ計測器を用いて中心線表面粗さあるいは最大粗さを測定することにより、被検体表面の粗さの影響を補正して探傷を行うことができるという効果を奏する。そして、この補正に要する粗さ計測器は一般的な計測装置であり、作業量の増加も軽微である。

40 【0101】請求項3の発明の超音波探傷方法は、以上のように、請求項1の構成に加えて、上記被検体表面の粗さは、該被検体に対して垂直に超音波を投射し、反射された反射エコーを受波して得られる反射エコーの測定値である構成である。

【0102】それゆえ、請求項1の構成による効果に加えて、検査部位の透過エコーを測定するとともに、反射エコーを測定することにより、被検体表面の粗さの影響を補正して探傷を行うことができるという効果を奏する。また、この補正に要する反射エコーは、被検体に対して垂直に超音波を投射して反射波を受波する反射探触子を備えた簡便な装置で測定することができ、作業量の

(11)

特開平11-211700

19

20

増加も軽微である。さらに、発信探触子および受信探触子を備えた従来の超音波探傷装置に上記反射探触子を設け、透過エコーと反射エコーとを同時に測定することも可能であり、より効率的に探傷作業を行うことができるという効果を奏する。

【0103】請求項4の発明の超音波探傷方法は、以上のように、請求項1から3の何れかの構成に加えて、上記被検体は、高炭素耐熱遠心铸造管である構成である。

【0104】それゆえ、請求項1から3の何れかの構成による効果に加えて、高炭素耐熱遠心铸造管は、外表面の粗さの経年変化が大きく、補正の効果が顕著である。

【0105】請求項5の発明の超音波探傷装置は、以上のように、被検体に超音波を投射する発信探触子と、該被検体を透過してくる透過エコーを受波する受信探触子からなる超音波探傷装置であって、前記被検体に対して垂直に超音波を投射し、反射された反射エコーを受波する第三の探触子を備えてなる構成である。

【0106】それゆえ、検査部位の透過エコーを測定するとともに、反射エコーを測定することにより、被検体表面の粗さの影響を補正して探傷を行うことができるという効果を奏する。また、上記超音波探傷装置は、発信探触子および受信探触子を備えた従来の超音波探傷装置に反射探触子（第三の探触子）を設けるだけでよい。そして、透過エコーと反射エコーとを同時に測定することができるため、より効率的に探傷作業を行うことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態にかかる超音波探傷装置の構成の概略を示す説明図である。

【図2】図1に示した超音波探傷装置の構成の概略を示す説明図である。

【図3】本発明の他の実施の形態にかかる超音波探傷装置の構成の概略を示す説明図である。

【図4】図3に示した超音波探傷装置の構成の概略を示す

* ず説明図である。

【図5】図3に示した超音波探傷装置の使用状況の概略を示す説明図である。

【図6】模擬欠陥が加工された遠心铸造管の中心線表面粗さと透過波感度値との測定結果と、その近似線を示すグラフである。

【図7】模擬欠陥が加工された遠心铸造管の最大粗さと透過波感度値との測定結果と、その近似線を示すグラフである。

10 【図8】模擬欠陥が加工された遠心铸造管の中心線表面粗さと透過波感度値との近似線と、実炉損傷管の中心線表面粗さと透過波感度値との測定結果を示すグラフである。

【図9】模擬欠陥が加工された遠心铸造管の最大粗さと透過波感度値との近似線と、実炉損傷管の最大粗さと透過波感度値との測定結果を示すグラフである。

【図10】遠心铸造管の中心線表面粗さと垂直表面波感度値との測定結果と、その近似線を示すグラフである。

20 【図11】遠心铸造管の最大粗さと垂直表面波感度値との測定結果と、その近似線を示すグラフである。

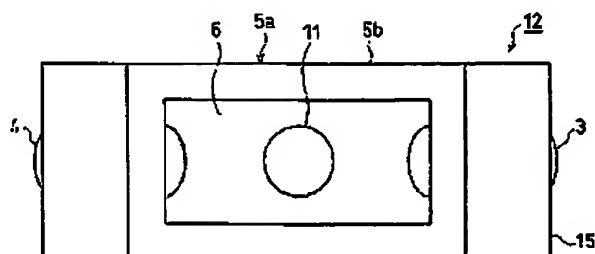
【図12】模擬欠陥が加工された遠心铸造管の垂直表面波感度値と透過波感度値との測定結果と、その近似線を示すグラフである。

【図13】模擬欠陥が加工された遠心铸造管の垂直表面波感度値と透過波感度値との近似線と、実炉損傷管の垂直表面波感度値と透過波感度値との測定結果を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 被検査管（被検体、高炭素耐熱遠心铸造管）
- 2 超音波探傷装置
- 3 発信探触子
- 4 受信探触子
- 11 反射探触子（第三の探触子）

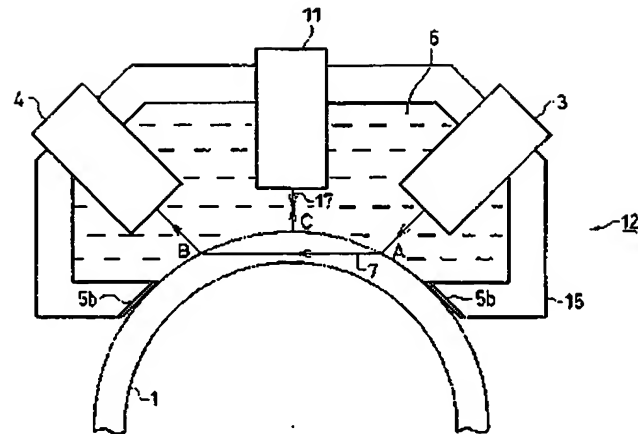
【図2】



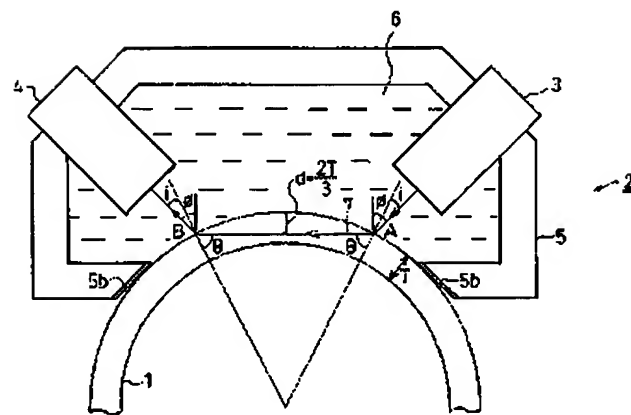
(12)

特開平11-211700

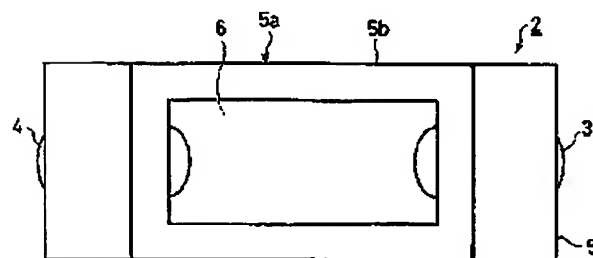
【図1】



【図3】



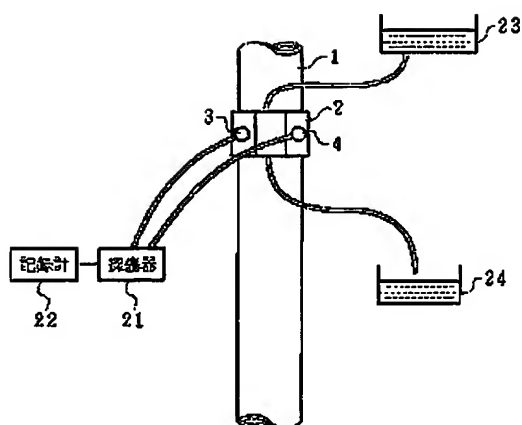
【図4】



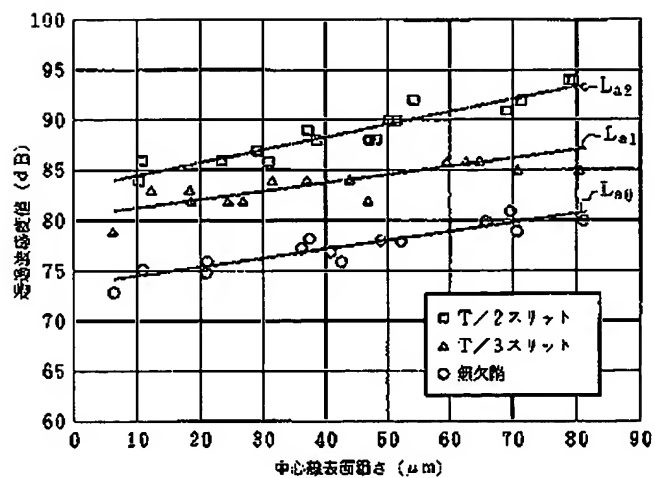
(13)

特開平11-211700

【図5】



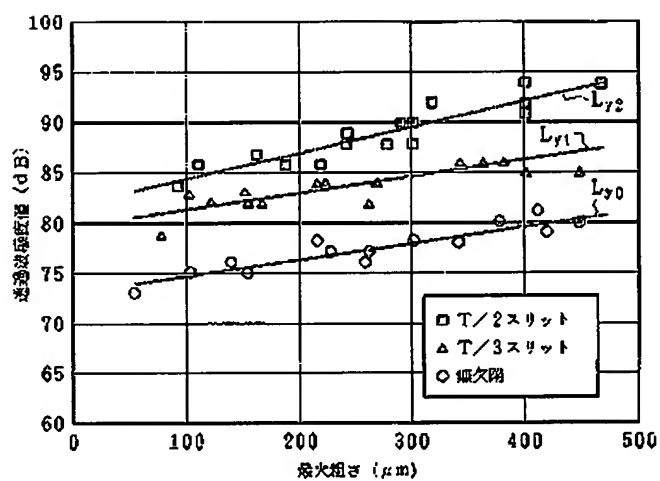
【図6】



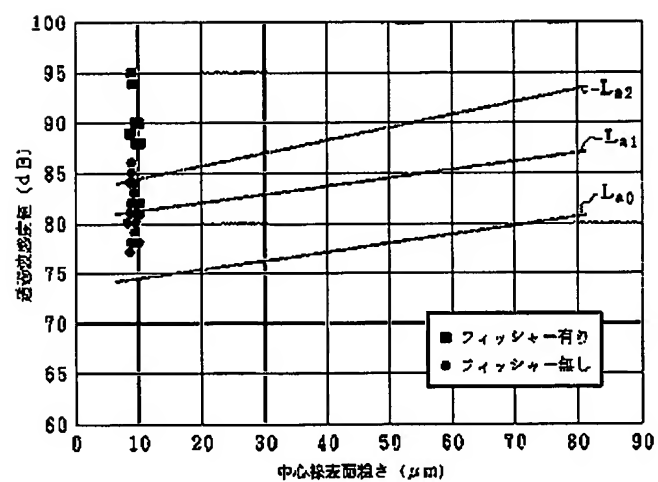
(14)

特開平11-211700

【図7】



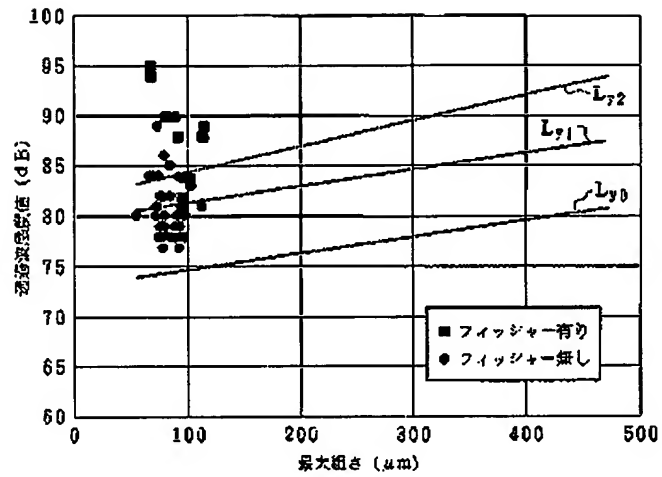
【図8】



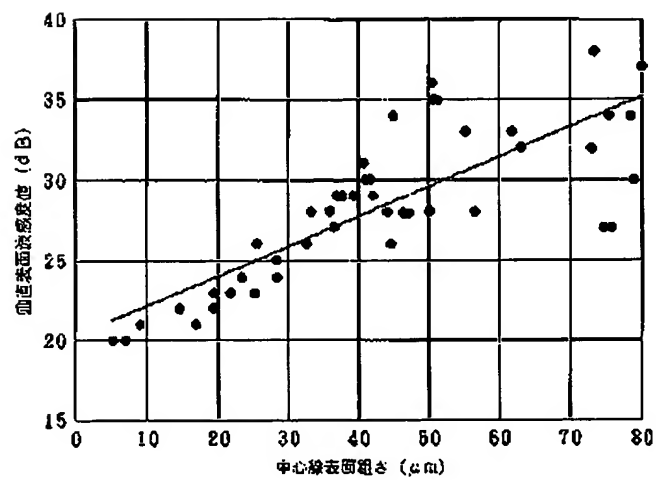
(15)

特開平11-211700

【図9】



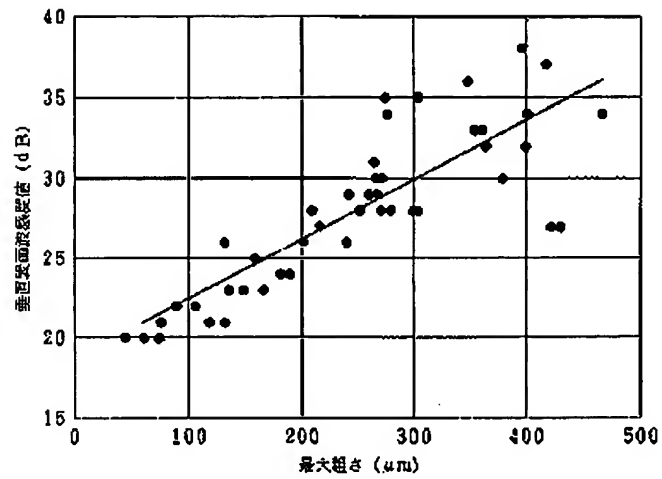
【図10】



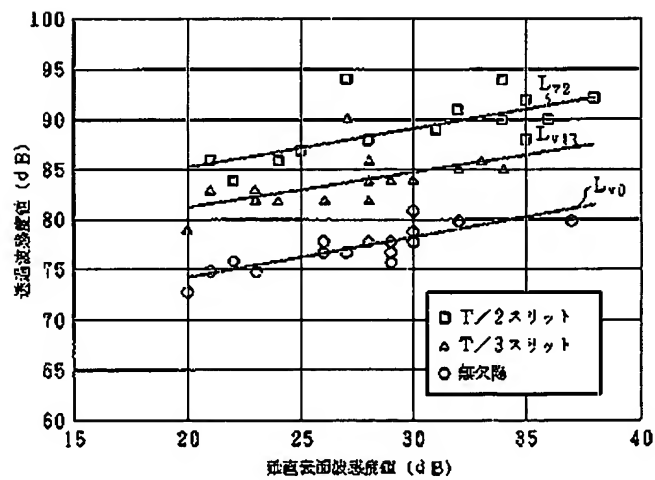
(16)

特開平11-211700

【図11】



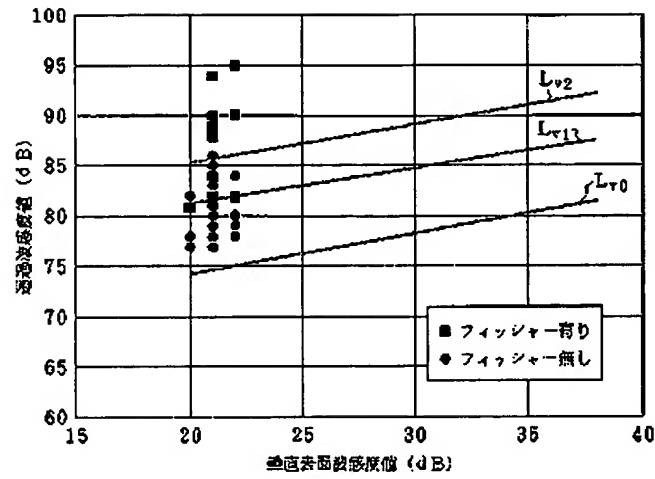
【図12】



(17)

特開平11-211700

【図13】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.